جغرافیا و مخاطرات محیطی، شمارهٔ سی و سوم، بهار ۱۳۹۹

صص ٦٠- ٤٥

DOI: https://doi.org/10.22067/geo.v9i1.83090

مقاله پژوهشی

پهنه‌بندی حساسیت خطر سیل در حوضه آبخیز رودخانه کشکان با استفاده از دو مدل WOE و EBF

فهیمه آزادی[1] – دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

سید حسن صدوق – استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

منیژه قهرودی – استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

هیمن شهابی – دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/٦/۳۰ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۵/۸

چکیده

سیل یکی از خطرناک‌ترین و شایع‌ترین حوادث طبیعی است که در سراسر جهان اتفاق می‌افتد. در استان لرستان و در حوضه آبخیز رودخانه کشکان نیز، این بلای طبیعی یکی از پرتکرارترین حوادثی است که هرساله اتفاق می‌افتد و علاوه بر خسارات مالی فراوان جان برخی از مردم منطقه را نیز به کام مرگ می‌برد. در فروردین سال ۹۸ سیلی که اتفاق افتاد، یکی از بی‌سابقه‌ترین سیل‌های ثبت شده در ۲۰۰ سال اخیر بود؛ بنابراین، توسعه نقشه‌های حساسیت سیل و تهیه حریم رودخانه، برای شناسایی مناطق سیلاب در حوضه آبخیز برای بهبود مدیریت و تصمیم‌گیری سیل ضروری است. هدف اصلی این مطالعه ارزیابی عملکرد تابع شواهد وزنی و تابع شواهد قطعی برای تهیه نقشه حساسیت سیلاب در حوضه آبخیز رودخانه کشکان است. این مقاله با استفاده از وزن عوامل یا شواهد وزنی (WoE) و مدل شواهد قطعی (EBF) بر اساس سیستم اطلاعاتی جغرافیایی (GIS) در حوضه رودخانه کشکان نقشه حساسیت منطقه به سیلاب را بدست آورده است، که در آن موقعیت جغرافیایی ٢٦٠ نقطه سیل گیر مشخص شده در منطقه به صورت تصادفی به یک گروه متشکل از (۷۰ درصدی) برای واسنجی و یک گروه (۳۰ درصدی) برای اعتبارسنجی تقسیم شدند. هر دو مدل ١٤ فاکتور مؤثر در ایجاد سیل را مورد توجه قرار داده‌اند که عبارتند از: شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، جنس خاک، کاربری اراضی، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، توان آبراهه (SPI)، بارش، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، پوشش گیاهی (NDVI)، انحنای شیب (Curvatior)، تراکم آبراهه و مدل ارتفاعی رقومی منطقه. همچنین برای اعتبار سنجی، نتایج مدل‌ها از منحنی راک استفاده شد. بر اساس مدل EBF ، ٤٧/٣٢ درصد از سطح منطقه در کلاس خطر متوسط تا خیلی زیاد قرار دارد و

[1] نویسنده مسئول ۰۹۲۲۷۸٤۸۹٦٦

Email: fahimehazadi402@yahoo.com

بر اســاس مدل WOE حدود ۵۲/۸ درصد از سطح منطقه در کلاس خطر متوسط تا خیلی زیاد قرار دارد. به‌منظور اعتبارســنجی نقشه‌های پیش‌بینی پتانسیل سیل‌خیزی، از منحنی ROC استفاده شد. از بین دو مدل WOE و EBF، بیشترین صحت به مدل EBF (۰/۸۷۵) اختصاص داشت؛ بنابراین در زمینه پتانسیل‌یابی خطر سیل‌خیزی، مدل EBF نسبت به مدل WOE دارای عملکرد بهتری است.

کلیدواژه‌ها: سیل، حوضه آبخیز رودخانه کشکان، مدل WOE، مدل EBF

۱-مقدمه

در میان بلایای طبیعی، ســـیل یکی از مهم‌ترین بلایای ویرانگر بوده که ارزیابی دقیق خطرات آن به علت کمبود اطلاعات و دانش در مورد تلفات ســیل، در مقیاس‌های مختلف با شکست مواجه است (گراهن و نیبرج، ۲۰۱۷)[1]. در هنگام بارش باران سنگین، میزان تخلیه جریان در یک رودخانه به‌سرعت افزایش می‌یابد و سطح آب از سطح نرمال آن بالا می‌رود و دشت سیلابی و اطراف آن را پوشش می‌دهد (چاپی و همکاران، ۲۰۱۷)[2] و باعث بروز سیل شود. در حوضه رودخانه کشکان نیز هرساله سیل‌های فاجعه باری اتفاق می‌افتد. با توجه به فراوانی سیل در این منطقه، برای جلوگیری از دست دادن زندگی و آسیب‌های اقتصادی باید به نقشه‌های حساسیت سیل توجه شود. از سال ۱۳۳٤ تا ســـال ۱۳۹۰، رودخـانه کشـــکان با ۱٦ ســـیلاب به حجم بیش از ۱۰۰۰ مترمکعب در ثانیه مواجه بوده که یکی از شدیدترین سیلاب‌ها در سال ۱۳۹۸ در این رودخانه اتفاق افتاد.

از طرف دیگر، پهنه‌بندی مناطق مســـتعد ســـیل، اولین و مهم‌ترین گام در جلوگیری از زمین‌لغزش می‌باشـــد. روش‌های مختلفی از جمله روش تحلیل ســلســله مراتبی (رضــوی ترمه و ملک، ۱۳۹٦)، روش ارزیابی چندمعیاره رویکرد WLC (رحمانی و همکاران، ۱۳۹٤)، مدل رگرسیون لجستیک (خسروی و همکاران، ۱۳۹۵)، فازی-تحلیل سلسله مراتبی (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹٦)، مدل تابع عامل مستند محور[3] (رضوی ترمه و ملک، ۱۳۹٦)، رویکرد خوشه‌بندی فازی (چن و همکاران، ۲۰۱۱)[4]، مدل ترکیبی شاهد وزنی[5] (شفاپور تهرانی و همکاران، ۲۰۱٤)، ماشین بردار پشـتیبان[6] (شفاپور تهرانی و همکاران، ۲۰۱٤)، روش ارزیابی چندمعیاره فضایی[7] (آریان پور و جمالی، ۲۰۱۵)، شاخص آماری[8] (خسروی و همکاران، ۲۰۱٦)، فاکتور وزنی[9] (خسروی و همکاران، ۲۰۱٦)، نسبت فراوانی (رحمتی

1 Grahn and Nyberg
2 Chapi et al
3 Evidential belief function (EBF)
4 Chen et al
5 Weights-of-evidence (WoE)
6 Support vector machine (SVM)
7 Spatial Multiple Criteria Evaluation (SMCE)
8 Statistical index
9 Weighting factor

و همکاران، ۲۰۱۶) و مدل ترکیبی هوش مصنوعی جدید[1] (چپی و همکاران، ۲۰۱۷) برای ارزیابی پتانسیل سیل‌خیزی استفاده شده است.

حسینی و همکاران (۱۳۹۴) پهنه‌های سیل‌گیر رود کشکان با استفاده از مدل الحاقیهٔ HEC-geo-RAS بررسی کردند. نتایج نشان داد که از کل مساحت سیل‌گیر مربوط به دورهٔ بازگشت ۱۰۰۰ سال، ۷۷ درصد آن مستعد سیل‌گیری با دوره‌های بازگشت کوتاه‌مدت (۲۵ سال) است. رضوی ترمه و ملک (۱۳۹۶) نقشه‌ی حساسیت سیلاب استان فارس را با استفاده از مدل تابع عامل مستند محور و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) بررسی کردند. بوی[2] و همکاران (۲۰۱۸) پهنه‌بندی سیل را با استفاده از الگوریتم تکاملی BuiNovel در مازندران انجام دادند. در این مطالعه روش‌های رگرسیون لجستیک، نروفازی ANFIS-ICA و ANFIS-FA استفاده شد.. نتایج نشان داد که مدل ANFIS-ICA نسبت به مدل‌های دیگر دارای بهترین عملکرد بود. آزاد طلب و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای سیل‌خیزی شهر سنندج را با استفاده از مدل‌های WOE و EBF مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که مدل EBF(۸٤ ٪) در مقایسه با مدل WOE (۷۷ ٪) دارای عملکرد بهتری است.

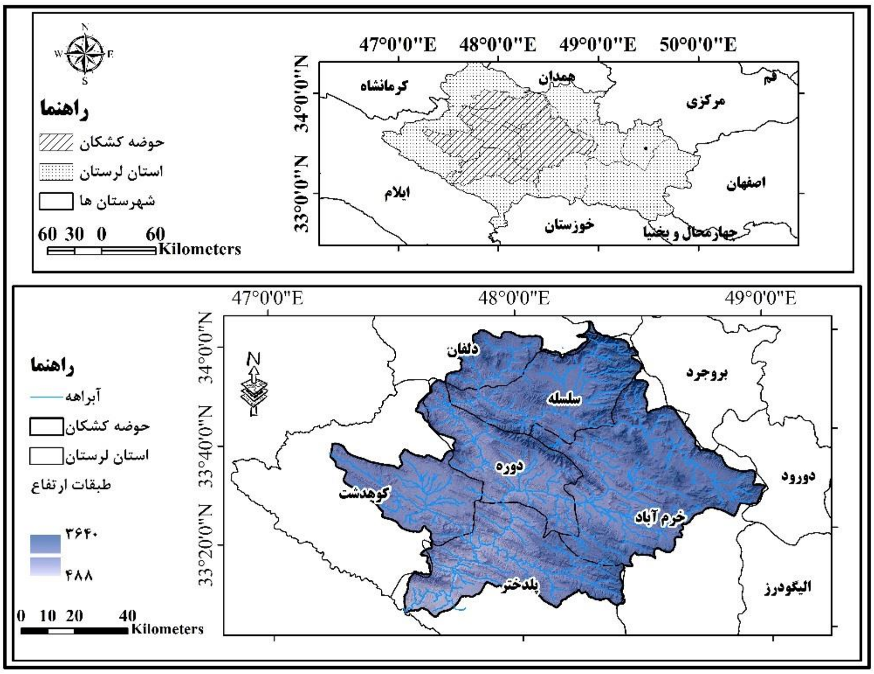
در تحقیق حاضر، پتانسیل‌یابی سیل‌خیزی با استفاده از مدل‌های تابع شواهد قطعی (EBF) و شواهد وزنی (WOE) بررسی شده است.

۲-منطقه مورد مطالعه

از بین رودخانه‌های دائمی استان لرستان رودخانه کشکان از سال ۱۳۳٤ تاکنون با 17 سیلاب بالای ۱۰۰۰ مترمکعب در ثانیه، سیل‌خیزترین رودخانه استان است. رودخانه‌ی کشکان یکی از سرشاخه‌های مهم و پرآب رودخانه‌ی کرخه می‌باشد که آب‌های منطقه‌ی وسیعی از استان لرستان را جمع‌آوری می‌نماید. این رودخانه در جنوب غربی پلدختر در منطقه‌ی موسوم به کل سفی، به رودخانه سیمره ملحق شده و رودخانه‌ی کرخه را به وجود می‌آورد .طول رودخانه‌ی کشکان حدود 270 کیلومتر و مساحت حوضه‌ی آبریز آن در بالادست ایستگاه کشکان-پلدختر 9400 کیلومترمربع می‌باشد. سیستم زهکشی اصلی رودخانه کشکان ابتدا از به هم پیوستن سرشاخه رودخانه‌های هرو و دو آب الشتر در شمال شرق و شمال حوضه به ترتیب با جهتی از شرق به غرب و شمال به جنوب تشکیل می‌شود. به این سرشاخه‌ها که از دامنه کوه‌های مرتفع و برف‌گیر گرین و میش پرور سرچشمه می‌گیرند در طول مسیر اصلی دیگر رودخانه‌های فرعی نظیر چم زکریا، خرم رود، چولهول و مادیان رود می‌پیوندند و سرانجام به صورت یک سیستم واحد رودخانه کشکان را تشکیل می‌دهند. بزرگ‌ترین سیلاب ثبت شده استان، سیل ۱۲ فروردین سال ۱۳۹۸ رودخانه کشکان با آبدهی پیک ٦۵۰۰ مترمکعب در ثانیه بوده که میزان خسارت ناشی

1 Bagging-LMT
2 Bui

از آن در بخش‌های مختلف معادل ۱۱هزار میلیارد تومان برآورد شده است (گزارش ستاد بحران استان، ۱۳۹۸). نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

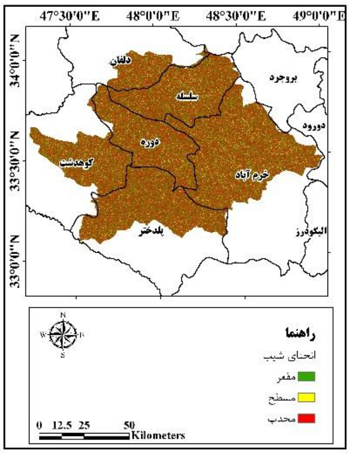
۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- داده‌ها

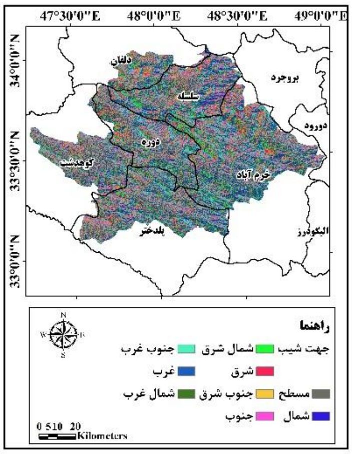
نقشه موقعیت جغرافیایی ۲٦۰ نقطه سیل گیر در منطقه بر اساس اطلاعات شرکت آب منطقه‌ای استان لرستان تهیه شد. این مجموعه به صورت تصادفی به دو گروه شامل ۱)داده‌های گروه آموزش (۷۰ درصدی) و داده‌های گروه اعتبارسنجی (۳۰ درصدی) تقسیم شدند.

در این مطالعه فاکتورهای استفاده شده شامل درصد شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از رودخانه، تراکم رودخانه، فاصله از جاده، کاربری اراضی، جنس خاک، انحنای شیب، لیتولوژی، پوشش گیاهی، بارندگی، NDVI، شاخص توان آبراهه[1] (SPI) و شاخص رطوبت توپوگرافی[2] (TWI) برای پهنه‌بندی پتانسیل خطر سیل‌خیزی در نظر گرفته شدند. لازم به ذکر است که طبقه‌بندی لایه‌ها با توجه به شرایط منطقه و نظر کارشناسی انجام شد. نقشه پارامترهای مورد استفاده در این مطالعه در شکل (۲) ارائه شده است.

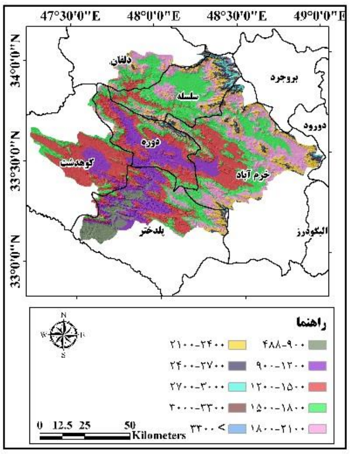
1 Stream power index
2 Topopgraphic wetness index



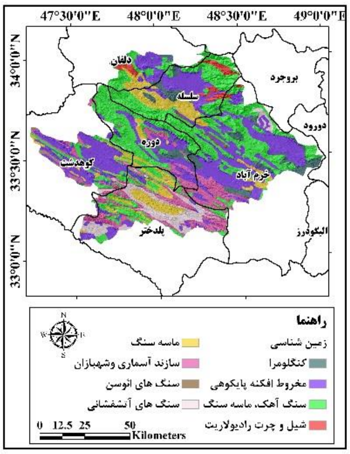
انحنای شیب



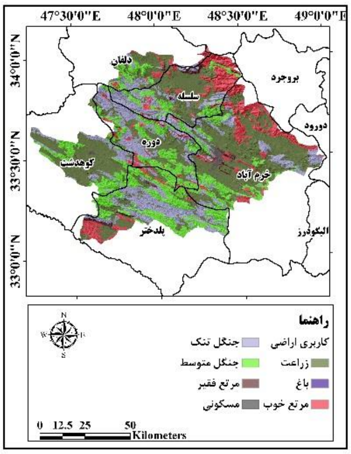
جهت شیب



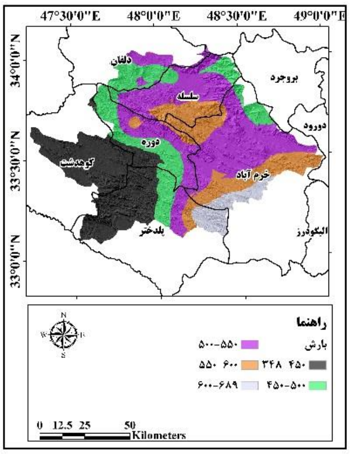
طبقات ارتفاع



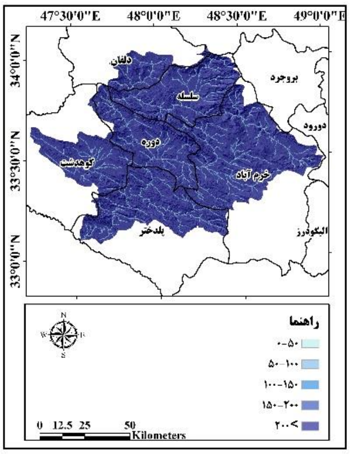
زمین‌شناسی



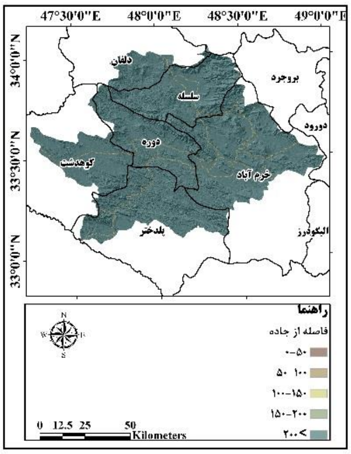
کاربری اراضی



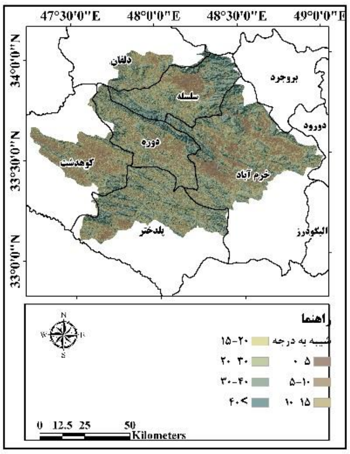
بارش



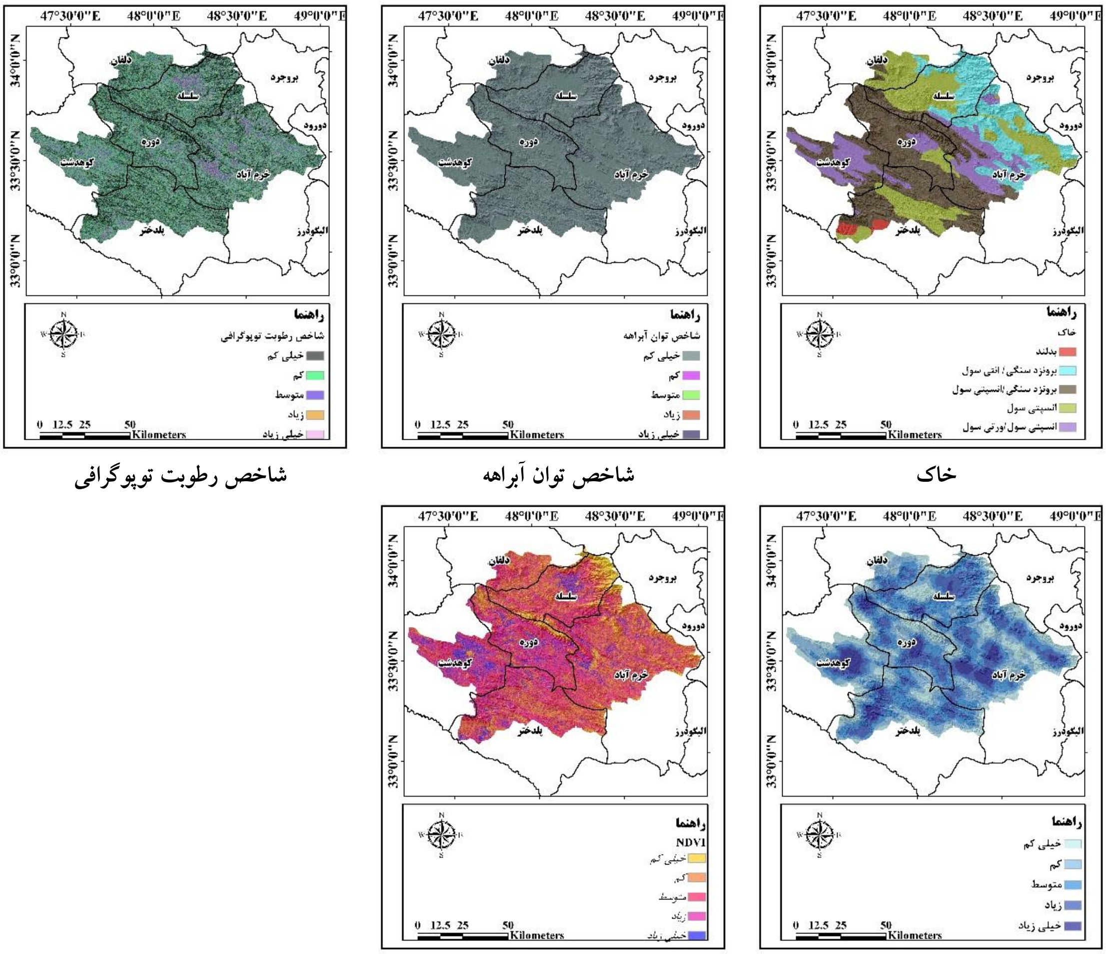
فاصله از رودخانه



فاصله از جاده



شیب



شاخص رطوبت توپوگرافی — شاخص توان آبراهه — خاک

NDVI — تراکم رودخانه

شکل ۲-نقشه پارامترهای مورد استفاده در مدل‌های WOE و EBF

۳-۲- ابزارهای مورد استفاده

ابزارهای مورد اســتفاده در این مطالعه به دو بخش ابزارهای فیزیکی شامل نقشه‌های DEM، نقشه زمین‌شناسی، کاربری اراضی و آبراهه و ابزارهای مفهومی شامل نرم‌افزارهای ArcGIS و Excel تقسیم شدند.

۳-۳- مدل‌ها مورد استفاده

۳-۳-۱- روش WOE

روش وزن شواهد یک روش داده محور مورداستفاده برای ترکیب مجموعه داده‌ها است و بر استفاده از فرم خطی از مدل احتمال بیزین برای برآورد اهمیت نسبی شواهد با استفاده از آمار استوار است (پورقاسمی و همکاران، ۱۳۹۲).

N_{pix1} تعداد پیکسل‌های وقوع سیل در هر کلاس، N_{pix2} (تعداد کل پیکسل‌های سیل در هر نقشه – تعداد پیکسل‌های وقوع سیل در هر کلاس)، N_{pix3} (تعداد پیکسل‌های هر کلاس – تعداد پیکسل‌های وقوع سیل در هر کلاس)، N_{pix4} (تعداد کل پیکسل‌های هر نقشه – تعداد کل پیکسل‌های وقوع سیل هر نقشه – تعداد پیکسل‌های هر کلاس + تعداد پیکسل‌های وقوع سیل در هر کلاس است) که از رابطه‌های (۱ و ۲) تعیین می‌گردد (ایلماز و همکاران، ۲۰۱۲)[1].

رابطه ۱
$$W_i^+ = \log_e \frac{\frac{N_{pix1}}{N_{pix1} + N_{pix2}}}{\frac{N_{pix3}}{N_{pix3} + N_{pix4}}}$$

رابطه ۲
$$W_i^- = \log_e \frac{\frac{N_{pix2}}{N_{pix1} + N_{pix2}}}{\frac{N_{pix4}}{N_{pix3} + N_{pix4}}}$$

وزن مثبت (W^+) نشان می‌دهد که عامل علتی در محل وقوع سیل وجود دارد و بزرگی این وزن، همبستگی بین آن عامل و وقوع سیل را بیان می‌کند؛ اما وزن منفی (W^-) بیانگر عدم عامل مورد نظر در محل بروز سیل بوده، سطح منفی همبستگی را نشان می‌دهد. اختلاف بین دو وزن مثبت و منفی (Wf) بزرگی ارتباط مکانی عامل علتی و وقوع سیل را نشان می‌دهد که از رابطه (۳) محاسبه می‌گردد (سونگ و همکاران، ۲۰۱۲)[2].

رابطه ۳
$$Wf = W_i^+ - W_i^-$$

برای به دست آوردن وزن نهایی هر عامل، وزن‌های مثبت و منفی کلاس‌های متعدد هر عامل باهم جمع می‌شوند. اگر وزن عاملی مثبت باشد، در وقوع سیل نقش دارد و درصورتی که وزن عامل منفی باشد، بیانگر عدم اثر عامل در بروز سیل است. برخی عوامل هم تأثیر ناچیزی در وقوع سیل داشته و وزن آنها صفر یا نزدیک به صفر است. با واردکردن وزن‌ها در محیط ArcGIS بر روی نقشه‌های موضوعی، نقشه موضوعی وزنی به دست می‌آیند. از مجموع این نقشه‌ها، نقشه پیش‌بینی استعداد وقوع سیل محاسبه گردید.

۳-۳-۲- روش EBF (Evidential belief Function)

مدل EBF شامل چند پارامتر Bel یا درجه اطمینان، Dis درجه عدم اطمینان Unc یا درجه عدم قطعیت و Pls درجه معقولیت در محدوده بین صفر تا یک می‌باشد (تهرانی و همکاران، ۲۰۱٤)[3]. بخش اصلی این تئوری توسط درجه اطمینان و درجه معقولیت ارائه می‌شود، به همین خاطر درجه معقولیت بزرگ‌تر یا مساوی درجه اطمینان است. داده استخراج شده از EBFs نه‌تنها همبستگی مکانی بین فاکتورهای مؤثر و رخداد سیل را بلکه همبستگی مکانی بین

1 Yilmaz et al
2 Song et al
3 Tehrany et al

کلـاس‌هـای هر یک از فاکتورهای مؤثر را برآورد می‌کند(جبار و همکاران، ۲۰۱٤).[1] پارامترهای روابط مدل EBF توسط فرمول ۸-٤ برآورد می‌شوند:

$$Belief(Bel) = \frac{Bel_1 + Bel_2 + \cdots \ldots + Bel_n}{\beta}$$ رابطه ٤

$$Disbelief(Dis) = \frac{Dis_2 + Dis_2 + \cdots . + Dis_n}{\beta}$$ رابطه ۵

$$\text{Uncertainty(Unc)} = \frac{\sum_{i=2}^{n}(Unc_{i-1}Unc_i + Bel_{i-1}Unc_i + Bel_iUnc_{i-1} + Dis_{i-1}Unc_i + Dis_iUnc_{i-1}}{\beta}$$ رابطه٦

$$\text{Plusibility(Pls)=Bel+Unc}$$ رابطه ۷

$$\beta = 1 - \sum_{i-2}^{n}(Bel_{i-1}Dis_i - Dis_{i-1}Bel_i)$$ رابطه ۸

در نهایت به منظور ارزیابی عملکرد مدل از سطح زیر نمودار AUC به دست آمده از منحنی ROC استفاده گردید. منحنی ROC یک نمایش گرافیکی از موازنه بین نرخ خطای منفی و مثبت برای هر مقدار احتمالی از پیش‌بینی‌هاست (پورقاسـمی و همکاران، ۱۳۹۲). مقدار سـطح زیر منحنی AUC، یک شاخص کمی برای نمایش کارایی و قدرت پیش‌بینی مـدل اســت (بهـداروند و همکاران، ۱۳۹۳). دامنه مقادیر مختلف ســطح زیر منحنی بین ۰/۵ (پیش‌بینی تصادفی) تا حداکثر ۱ (پیش‌بینی کاملاً صحیح) است (رحمتی و همکاران، ۲۰۱٦). همبستگی کیفی - کمی سطح زیر منحنی و ارزیابی تخمین به صورت (۱-۰/۹ عالی؛ ۰/۹-۰/۸ خیلی خوب؛ ۰/۸-۰/۷ خوب؛ ۰/۷-۰/٦ متوسط؛ ۰/٦-۰/۵ ضعیف) است (پرادهان، ۲۰۱۰).

٤- بحث و نتایج

نتایج حاصـل از ارتباط بین هر یک از عوامل مؤثر و نقاط وقوع سـیل با اسـتفاده از روش شواهد وزنی و تابع شـواهد قطعی در جدول (۱) ارائه شـده اسـت. همان‌طور که مشاهده می‌شود با توجه به مدل شواهد وزنی و تابع شـــواهد قطعی، جهت جنوب شـــرق، شـــیب ۵-۰ درصـــد، ارتفاع از ســـطح دریای ۹۰۰-٤٤۸ متر، جنس خاک (انسپتی‌سول/ورتی‌سول)، فاصله از رودخانه (۵۰-۰)، تراکم رودخانه (۰/٦۹-۰/٤۳)، کاربری مسکونی، باران (٤۵۰-۳٤۸ میلیمتر)، انحنای شـــیب مقعر، لیتولوژی (OMq)، TWI (طبقه زیاد)، SPI (خیلی کم)، NDVI (خیلی کم) و فاصله از جاده (۲۰۰-۱۵۰ متر) دارای بیشترین تأثیر در ایجاد پتانسیل سیل‌خیزی می‌باشند. نقشه پتانسیل سیل‌خیزی با استفاده از مدل شواهد وزنی در شکل (۳ الف) ارائه شده است. مساحت و درصد مساحت طبقات پتانسیل سیل‌خیزی در جدول (۲) ارائه شده است. نتایج مطالعه نشان داد که حدود ۵۲/۸ درصد از سطح منطقه در کلاس متوسط تا خیلی زیاد قرار دارد.

نقشـه‌های حاصل از مدل EBF (شکل ۳ب تا ۳ ج) شامل درجاتی از قطعیت (Bel)، عدم قطعیت (Dis)، عدم اطمینان (Unc) و احتمال (Pls) در دامنه بین صفر و یک است و مجموع مقادیر قطعیت، عدم قطعیت و عدم اطمینان ۱ است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ٤۷/۳۲ درصد از سطح منطقه در کلاس خطر متوسط تا خیلی زیاد قرار دارد.

---

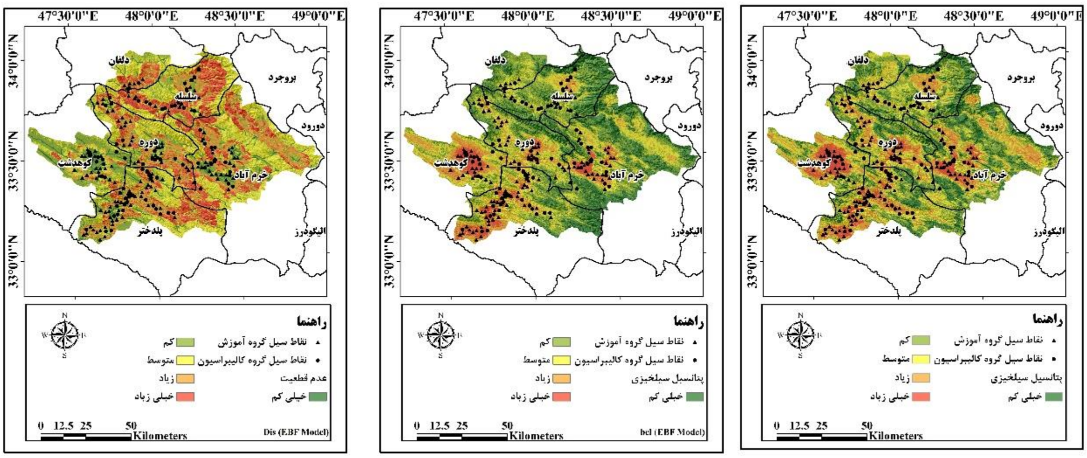
1 Jebur et al

جدول ۱-تعداد پیکسل، تعداد نقاط سیل و امتیاز طبقات پارامترها در روش شواهد وزنی و روش تابع شواهد قطعی

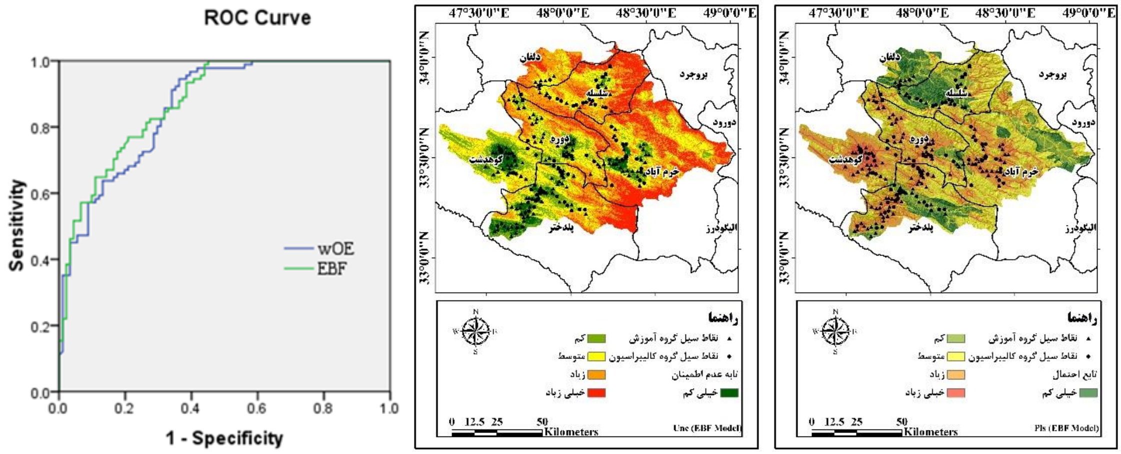
Pluasibility	Unc	Dis	Bel	Wfinal	W-	W+	فاصله طبقات	پارامتر
0/889	0/889	0/111	0/000	-0/0005	0/0005	0/00	فلات	جهت شیب
0/886	0/783	0/114	0/103	-0/1930	0/0243	-0/17	شمال	
0/889	0/763	0/111	0/126	0/0354	-0/0050	0/03	شمال شرق	
0/889	0/763	0/111	0/126	0/0343	-0/0033	0/03	شرق	
0/892	0/735	0/108	0/157	0/2849	-0/0320	0/25	جنوب شرق	
0/887	0/777	0/113	0/110	-0/1257	0/0184	-0/11	جنوب	
0/886	0/778	0/114	0/108	-0/1435	0/0220	-0/12	جنوب غرب	
0/889	0/762	0/111	0/127	0/0449	-0/0051	0/04	غرب	
0/891	0/749	0/109	0/142	0/0178	-0/0178	0/00	شمال غرب	
0/878	0/573	0/122	0/305	1/05	-0/15	0/90	0-۵	شیب
0/876	0/658	0/124	0/218	0/71	-0/14	0/57	۵-۱۰	
0/869	0/677	0/131	0/192	0/52	-0/08	0/44	۱۰-۱۵	
0/860	0/723	0/140	0/136	0/11	-0/01	0/10	۱۵-۲۰	
0/848	0/764	0/152	0/084	-0/45	0/07	-0/39	۲۰-۳۰	
0/842	0/809	0/158	0/033	-1/44	0/11	-1/33	۳۰-۴۰	
0/828	0/796	0/172	0/032	-1/54	0/19	-1/35	>40	
0/919	0/378	0/081	0/541	1/89	-0/20	1/69	۴۴۸-۹۰۰	ارتفاع
0/934	0/614	0/066	0/320	1/58	-0/41	1/16	۹۰۰-۱۲۰۰	
0/903	0/795	0/097	0/108	0/11	-0/03	0/08	۱۲۰۰-۱۵۰۰	
0/876	0/845	0/124	0/031	-1/39	0/22	-1/17	۱۵۰۰-۱۸۰۰	
0/879	0/879	0/121	0/000	-0/20	0/20	0/00	۱۸۰۰-۲۱۰۰	
0/892	0/892	0/108	0/000	-0/08	0/08	0/00	۲۱۰۰-۲۴۰۰	
0/897	0/897	0/103	0/000	-0/04	0/04	0/00	۲۴۰۰-۲۷۰۰	
0/900	0/900	0/100	0/000	-0/01	0/01	0/00	۲۷۰۰-۳۰۰۰	
0/900	0/900	0/100	0/000	-0/01	0/01	0/00	۳۰۰۰-۳۳۰۰	
0/900	0/900	0/100	0/000	0/00	0/00	0/00	>۳۳۰۰	
0/151	0/649	0/200	0/151	-0/01	0/00	-0/009	انسپتی‌سول	جنس خاک
0/840	0/527	0/160	0/313	0/94	-0/22	0/721	انسپتی‌سول/ورتی‌سول	
0/804	0/436	0/196	0/369	0/90	-0/02	0/884	بدلند	
0/762	0/738	0/238	0/023	-2/05	0/18	-1/871	برونزد سنگی/انتی سول	

Pluasibility	Unc	Dis	Bel	Wfinal	W-	W+	فاصله طبقات	پارامتر
0/793	0/650	0/207	0/144	-0/09	0/04	-0/058	برونزد سنگی/انسپتی سول	
0/885	0/566	0/115	0/319	1/78	-0/13	1/65	0-50	فاصله از رودخانه
0/883	0/577	0/117	0/306	1/72	-0/11	1/61	50-100	
0/876	0/711	0/124	0/165	1/04	-0/05	0/99	100-150	
0/875	0/705	0/125	0/169	1/06	-0/04	1/02	150-200	
0/481	0/440	0/519	0/040	-1/38	1/38	0/00	>200	
0/763	0/741	0/237	0/022	-1/93	0/19	-1/74	0-۰/۱۳۳	تراکم رودخانه
0/730	0/727	0/270	0/003	-4/18	0/32	-3/86	۰/۱۳۳-۰/۲۲	
0/808	0/675	0/192	0/133	0/10	-0/03	0/07	۰/۲۲-۰/۳۲	
0/853	0/605	0/147	0/248	0/29	-0/29	0/00	۰/۳۲-۰/٤۳	
0/847	0/252	0/153	0/595	1/82	-0/25	1/57	۰/٤۳-۰/٦۹	
0/907	0/791	0/093	0/116	0/86	-0/44	0/42	زراعت	کاربری
0/855	0/855	0/145	0/000	0/00	0/00	0/00	باغ	
0/839	0/822	0/161	0/017	-1/59	0/11	-1/48	مرتع خوب	
0/859	0/776	0/141	0/082	0/10	-0/02	0/08	جنگل تنک	
0/822	0/805	0/178	0/017	-1/69	0/21	-1/48	جنگل متوسط	
0/854	0/825	0/146	0/029	-0/97	0/01	-0/96	مرتع فقیر	
0/864	0/126	0/136	0/738	2/33	-0/06	2/27	مسکونی	
0/862	0/397	0/138	0/465	1/02	-0/37	0/65	۳٤۸-٤۵۰	باران
0/794	0/582	0/206	0/213	-0/16	0/03	-0/13	٤۵۰-۵۰۰	
0/771	0/590	0/229	0/181	-0/42	0/13	-0/29	۵۰۰-۵۵۰	
0/784	0/643	0/216	0/141	-0/62	0/08	-0/54	٦۰۰–۵۵۰	
0/789	0/789	0/211	0/000	-0/05	0/05	0/00	٦۰۰-٦۸۹	
0/686	0/335	0/314	0/350	0/12	-0/06	0/060	مقعر	انحنای شیب
0/667	0/325	0/333	0/342	0/04	0/00	0/035	فلات	
0/647	0/339	0/353	0/308	-0/13	0/06	-0/070	محدب	
0/872	0/773	0/128	0/099	-0/505	0/023	-0/482	E	لیتولوژی
0/893	0/679	0/107	0/215	0/448	-0/158	0/290	E2c	
0/858	0/739	0/142	0/119	-0/428	0/127	-0/300	EMas-sb	
0/872	0/872	0/128	0/000	-0/020	0/020	0/000	Javt	
0/888	0/575	0/112	0/314	0/782	-0/113	0/670	OMq	
0/864	0/809	0/136	0/055	-1/155	0/084	-1/070	Plc	
0/875	0/875	0/125	0/000	-0/003	0/003	0/000	Qft1	
0/877	0/679	0/123	0/198	0/224	-0/014	0/210	TRKurl	
0/761	0/681	0/239	0/080	-1/001	0/181	-0/82	خیلی کم	TWI

Pluasibility	Unc	Dis	Bel	Wfinal	W-	W+	فاصله طبقات	پارامتر
0/806	0/617	0/194	0/189	0/075	-0/028	0/05	کم	
0/819	0/582	0/181	0/238	0/098	-0/098	0/00	متوسط	
0/810	0/551	0/190	0/260	0/050	-0/050	0/00	زیاد	
0/803	0/570	0/197	0/234	0/014	-0/014	0/00	خیلی زیاد	
0/950	0/148	0/050	0/802	1/57	-1/54	0/0216606	خیلی کم	SPI
0/760	0/562	0/240	0/198	-1/39	0/02	-1/376839	کم	
0/763	0/763	0/237	0/000	0/00	0/00	0	متوسط	
0/764	0/764	0/236	0/000	0/00	0/00	0	زیاد	
0/764	0/764	0/236	0/000	0/00	0/00	0	خیلی زیاد	
0/811	0/580	0/189	0/231	0/57	-0/04	0/53	خیلی کم	NDVI
0/784	0/675	0/216	0/110	-0/31	0/10	-0/21	کم	
0/754	0/675	0/246	0/079	-0/77	0/23	-0/54	متوسط	
0/826	0/618	0/174	0/208	0/55	-0/12	0/43	زیاد	
0/824	0/451	0/176	0/373	0/11	-0/11	0/00	خیلی زیاد	
0/864	0/700	0/136	0/164	0/92	-0/01	0/91	۰–۵۰	فاصله از جاده
0/864	0/688	0/136	0/176	0/98	-0/01	0/97	۵۰–۱۰۰	
0/864	0/701	0/136	0/163	0/91	-0/01	0/90	۱۰۰–۱۵۰	
0/867	0/433	0/133	0/434	1/91	-0/03	1/88	۱۵۰–۲۰۰	
0/541	0/478	0/459	0/062	-1/27	1/21	-0/06	بیشتر از ۲۰۰	



پ) تابع عدم قطعیت ب) تابع قطعیت (نقشه خطر سیل) الف) مدل WoE



ت) تابع احتمال ج) تابع عدم اطمینان ح) منحنی ROC

شکل ۳- نقشه خطر سیل‌خیزی با استفاده از مدل الف) مدل شواهد وزنی؛ ب) مدل تابع شواهد قطعی؛ پ) تابع عدم قطعیت؛ ت) تابع احتمال؛ ج) تابع عدم اطمینان؛ چ) منحنی ROC

جدول ۲- مساحت و درصد مساحت طبقات خطر سیل با استفاده از مدل‌های WOE و EBF

طبقات سیل	مدلWOE		مدلEBF	
	مساحت طبقات (هکتار)	درصد مساحت	مساحت طبقات (هکتار)	درصد مساحت
خیلی کم	176573/9	18/61	225821/1	23/80
کم	270781/3	28/53	274160/4	28/89
متوسط	242664/5	25/57	236097/5	24/88
زیاد	177620/2	18/72	151542/4	15/97
خیلی زیاد	81350/55	8/57	61373/63	6/47

مقدار AUC برای مدل‌های مورد ارزیابی با توجه به داده‌های اعتبارسنجی در جدول (۳) ارائه شده است. همچنین منحنی ROC مدل‌های مورد ارزیابی با توجه به داده‌های اعتبارسنجی در شکل (۳) ارائه شده است. از میان مدل WOE و EBF مورد مطالعه، بیشترین صحت به مدل EBF (۰/۸۷۵) اختصاص داشت؛ بنابراین در زمینه پتانسیل‌یابی خطر سیل‌خیزی، مدل EBF نسبت به مدل WOE دارای عملکرد بهتری می‌باشد. نمونه هایی از طغیان رودخانه کشکان در شکل (٤) ارائه شده است.

جدول ۳– مقدار AUC مدل‌های پیش‌بینی ریسک سیل‌خیزی

ردیف	مدل پیش‌بینی	داده‌های اعتبارسنجی
۱	WOE	۰/۸۶۱
۲	EBF	۰/۸۷۵



شکل ٤- تصاویری از طغیان رودخانه کشکان

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش، دو مدل EBF و WOE برای پیش‌بینی پتانسیل خطر سیل استفاده شدند. نقشه‌های حاصل از این دو مدل به پنج طبقه پتانسیل خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی شدند؛ که از این میان فقط مناطق با پتانسیل خیلی بالا مدنظر می‌باشد. بیشترین مساحت مناطق با پتانسیل خیلی زیاد در مدل WOE مشاهده شد. مناطقی که بر اساس نقشه نهایی از پتانسیل خیلی زیاد وقوع سیل برخوردارند، بایستی هنگام برنامه‌ریزی بیشتر مورد توجه قرار گیرند.

بررسی مدل‌های پیش‌بینی مورد مطالعه با استفاده از منحنی مشخصه عملکرد نشان داد که تابع شواهد قطعی (۸۷ ٪) نسبت به مدل شواهد وزنی (٨٦ ٪) دارای عملکرد بهتری می‌باشد. نتایج مطالعه آزاد طلب و همکاران (۱۳۹۷) نشان داد که مدل EBF(٨٤ ٪) در مقایسه با مدل WOE (۷۷ ٪) دارای عملکرد بهتری است، که با نتایج مطالعه کنونی همخوانی دارد.

با توجه به نتایج مطالعه، با کاهش شیب احتمال آب گرفتگی و وقوع سیل بیشتر بوده که این یافته ها با نتایج مطالعه سیاه کمری و زینی وند (۱۳۹۵) و تهرانی و پرادهان (۲۰١٤) همخوانی دارد. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که عامل ارتفاع از سطح دریا با احتمال وقوع سیل رابطه معکوس دارد. همچنین احتمال وقوع سیل در زمین های اطراف رودخانه، اراضی مقعر و در مناطق با تراکم بالاتر رودخانه، بیشتر بود. این یافته‌ها با نتایج مطالعه سیاه کمری و زینی وند (۱۳۹۵) همخوانی دارد. پارامتر TWI اثر توپوگرافی را در تولید رواناب با فرض پایداری و یکنواختی شرایط

خاک بیان می‌کند، ارزیابی این شـاخص نشان می‌دهد که طبقه زیاد دارای بیشترین امتیاز می‌باشد. شاخص رطوبت توپوگرافی بیانگر مقدار انباشت جریان در هر مکان در یک حوضه آبخیز و روند قدرت جریان آب به پایین دست بر اثر نیروی گرانش می‌باشد. همچنین این پارامتر با وضعیت رطوبت خاک ارتباط دارد (سیلودیمو و همکاران، ۲۰۰۳)[1].

نتایج مطالعه نشـان داد که پتانسـیل وقوع سیل در مناطق دارای سنگ آهک، مارن و ماسه سنگ بیشتر می‌باشد. سازندهای دوره کواترنری به علت وجود واحدهای مارنی و کنگلومرایی جریان های سیلابی بیشتری را دارند، خاک های مارنی دارای کمترین نفوذ، بیشـترین رواناب و بالاترین فرسـایش می باشـند. همچنین بخش عمده سنگ های ژوراسیک در این گستره را مارن، سنگ اهک، شیل های اهکی و دولومیت تشکیل می‌دهد (سیاه کمری و زینی وند، ۱۳۹۵). همچنین نتایج مطالعه نشان دادکه جنس خاک (انسپتی‌سول/ورتی‌سول)، کاربری مسکونی، باران (۴۵۰–۳۴۸ میلیمتر)، SPI (خیلی کم)، NDVI (خیلی کم) و فاصله از جاده (۲۰۰–۱۵۰ متر) دارای بیشترین تأثیر در ایجاد پتانسیل سیل‌خیزی می‌باشند.

نتایج مطالعه نشـان داد که سـیل‌خیزی ناشی از برآیند عوامل مختلف محیطی و انسانی است که بر اساس نقشه پیش‌بینی خطر سـیل ارائه شده می‌توان اقدامات مدیریتی مناسبی را جهت کاهش خسارت‌ها و تلفات ناشی از سیل انجام داد. در پایان، می‌تواند گفت که دسـتیابی به یک نقشـه پیش‌بینی مکانی دقیق و معقول می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان شـهری در شـناسـایی مناطق حساس به وقوع سیل جهت مدیریت بحران نواحی مستعد کمک شایانی بنماید.

کتابنامه

آزاد طلب، مهناز؛ شـهابی، هیمن.؛ چپی، کامران؛ شـیرزادی، عطاع اله؛ ۱۳۹۷. پیش‌بینی مکانی مخاطره سیلاب در شهر سنندج با استفاده از مدل‌های ترکیبی. پایان نامه کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی. دانشگاه کردستان.

اسماعیل علویچه، الهام؛ کریمی، سعید؛ علوی پور، فاطمه سادات؛ ۱۳۹۶. ارزیابی آسیب پذیری مناطق شهری در برابر سـیل با منطق فازی (مطالعه موردی: منطقه ۲۲ تهران)، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۵، صفحه ۱–۱۲.

بهداروند، ندا؛ کابلی، محمد؛ جباریان امیری، بهمن؛ ابراهیم پور، رضـا؛ اسدی آقبلاغی، مرضیه؛ ایمانی هرسینی، جلیل؛ ۱۳۹۳. شناسایی مناطق پرخطر و عوامل محیطی مؤثر بر حملات گرگ به دام در استان همدان با به کارگیری روش مدل سازی MAXENT. محیط زیست طبیعی، ٦٧(۳): ۲۴۵–۲۵۲.

پورقاسمی، حمیدرضا؛ مرادی، حمیدرضا؛ محمدی، مجید؛ ۱۳۹۲. پهنه بندی حساسیت زمی نلغزش با استفاده از مدل احتمالاتی وزن واقعه. نشریه مهندسی فناوری اطلاعات مکانی. ۱(۲): ۸۰–٦۹.

1 Skilodimou et al

حسینی، موسی؛ جعفربیگلو، منصور؛ گراوند، فاطمه؛ ۱۳۹٤. تعیین پهنه‌های سیل‌گیر رود کشکان با استفاده از مدل هیدرولیکی به‌منظور کاهش مخاطرات سیل. مدیریت مخاطرات محیطی. ۲(۳): ۳٦۹-۳۵۵.
خسروی، خه بات؛ معروف نیا، ادریس؛ نوحانی، ابراهیم؛ چپی، کامران؛ ۱۳۹۱. ارزیابی کارایی مدل رگرسیون لجستیک در تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل. مجله منابع طبیعی ایران. ٦۹(٤): ۸۷٦-۸٦۳.
رحمانی، محمد؛ عبوری، مهدی؛ ملا آقاجانزاده، ساره؛ ۱۳۹٤. پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از روش‌های همپوشانی ترکیب خطی وزنی (WLC) و سناریوهای میانگین وزنی مرتب‌شده (OWA) مطالعه موردی: شهر ساری/مازندران/ایران). کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در علوم کشاورزی و محیط‌زیست. دانشگاه تهران.
رضوی ترمه، وحید؛ ملک، محمد رضا؛ ۱۳۹٦. تهیه نقشه حساسیت سیلاب با استفاده از ترکیب مدل باور شهودی (EBF) و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (مطالعه موردی: شهرستان جهرم)، نشریه مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، شماره ۳، صفحه ۱-۱۵.
سیاه کمری، صفورا؛ و زینی وند، حسین؛ ۱۳۹۵. پتانسیل‌یابی مناطق مستعد سیل با استفاده از مدل شاخص اماری و وزن شواهد (مطالعه موردی: حوزه آبخیز مادرسو، گلستان). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. ۷(٤): ۱۳۱-۱۱٦.

Arianpour, M. and Jamali, A. A. (2015). Flood Hazard Zonation using Spatial Multi-Criteria Evaluation (SMCE) in GIS (Case Study: Omidieh-Khuzestan). European Online Journal of Natural and Social Sciences. 4(1): 39 – 49.
Bui, D. T., Panahi, M., Shahabi, H., Singh, V. P., Shirzadi, A., Chapi, K., ... & Ahmad, B. B. (2018). Novel hybrid evolutionary algorithms for spatial prediction of floods. Scientific reports, 8(1), 15364.
Chapi, K., Singh, V. P., Shirzadi, A., Shahabi, H., Bui, D. T., Pham, B. T., & Khosravi, K. (2017). A novel hybrid artificial intelligence approach for flood susceptibility assessment. Environmental Modelling & Software, 95, 229-245.
Chapi, K.; Singh, V.P.; Shirzadi, A.; Shahabi, H.; Bui, D.T.; Pham, B.T.; Khosravi, K. 2017. A novel hybrid artificial intelligence approach for flood susceptibility assessment. Environ. Model. Softw. 95: 229–245
Chen, J., Zhao, S. and Wang, H. (2011). Risk Analysis of Flood Disaster Based on Fuzzy Clustering Method. Energy Procedia. 5: 1915 – 1919.
Grahn, T.; Nyberg, L. 2017. Assessment of pluvial flood exposure and vulnerability of residential areas. Int. J. Disaster Risk Reduct. 21: 367–375.
Khosravi, K., Pourghasemi, H. R., Chapi, K., & Bahri, M. (2016). Flash flood susceptibility analysis and its mapping using different bivariate models in Iran: a comparison between Shannon’s entropy, statistical index, and weighting factor models. Environmental monitoring and assessment, 188(12), 656.
Pradhan B. 2010. Flood susceptible mapping and risk area delineation using logistic regression, GIS and remote sensing. Journal of Spatial Hydrology, 9(2): 1-18.
Rahmati, O., Pourghasemi, H. R., & Zeinivand, H. (2016). Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran. Geocarto International, 31(1), 42-70.

Song, K.Y., J. Oh, J. Choi, I. Park, C. Lee and S. Lee. 2012. Prediction of landslides using ASTER imagery and data mining models. Advances in Space Research, 49: 978-993.
Tehrany, M. S., Pradhan, B., & Jebur, M. N. (2014). Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. Journal of hydrology, 512, 332-343.
Verikiou-Papaspiridakou E. 2003. Investigating the flooding events of the urban regions of Glyfada and Voula, Attica, Greece: a contribution to Urban Geomorphology. Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography 85 (2):197-204.
Yilmaz, C., T. Topal, and M.L. Suzen. 2012. GIS-based landslide susceptibility mapping using bivariate statistical analysis in Devrek (Zonguldak-Turkey). Environmental Earth Science, 65: 2161- 2178